第 38 卷第 3 期 生 态 学 报 Vol.38,No.3
2018 年 2 月 ACTA ECOLOGICA SINICA Feb.,2018

DOI: 10.5846/stxb201707221316
陈敏敏,刘志刚,黄杰,连玉喜,杨晓鸽,于道平.固化河岸对长江江豚栖息活动的影响.生态学报,2018,38(3):945-952.
Chen M M, Liu Z G, Huang J, Lian Y X, Yang X G, Yu D P.Effects of artificial riverbanks on distribution of the Yangtze finless porpoise in the Anqing section of the Yangtze River main stem.Acta Ecologica Sinica,2018,38(3):945-952.

固化河岸对长江江豚栖息活动的影响

陈敏敏[1],刘志刚[1],黄　杰[2],连玉喜[1],杨晓鸽[1],于道平[1,*]
1 水生生物保护与水生态修复安徽省高等学校工程技术研究中心,安庆师范大学生命科学学院, 安庆　246133
2 中国科学院水生生物研究所, 中国科学院水生生物多样性与保护重点实验室, 武汉　430072

摘要:长江江豚主要栖居在近岸浅水水域,喜好泥沙质类型的河岸。但在长江干流,有很多自然河岸被固化,河岸固化给长江江豚分布和栖息活动造的影响仍不甚清楚。2016 年 3 月—2017 年 1 月,对长江干流 2 个自然河段江豚的数量和分布做了 12 次考察,并收集了这 2 个河段岸型的相关数据,来分析固化河岸对江豚栖息活动的影响。12 次考察累计发现江豚 215 头次,平均每次考察观察到江豚(17.92±7.09)头次。研究区域的固化河岸约占岸线总长的 59%,分析发现,仅约 13.9%的江豚分布在固化河岸水域,86.1%的江豚均分布在自然河岸水域。江豚在单位河岸长度的分布数量与该段固化河岸长度所占的比例呈显著负相关($r=-0.639$, $P<0.01$)。在自然河岸,分布在近岸 50 m 水域的江豚占 31.8%,而在固化河岸,仅观察到 2 头江豚活动在近岸 50 m 水域内。由此可见,固化河岸对江豚的近岸分布有明显影响。调查还发现,安庆城区建设带约 10 km 江段 12 次考察均未发现江豚分布,城区建设带可能对江豚栖息已造成严重影响。长江干流的固化河岸所占比例非常高,研究结果提示这可能导致长江干流江豚栖息地的丧失和破碎化加剧,在制定长江江豚保护措施必需慎重考虑此因素的影响,并据此提出相应的栖息地保护和恢复方案。

关键词: 长江江豚;栖息地选择;固化河岸;自然河岸

Effects of artificial riverbanks on distribution of the Yangtze finless porpoise in the Anqing section of the Yangtze River main stem

CHEN Minmin[1], LIU Zhigang[1], HUANG Jie[2], LIAN Yuxi[1], YANG Xiaoge, YU Daoping[1,*]
1 *Research Center of Aquatic Organism Conservation and Water Ecosystem Restoration of Anhui Education Department, College of Life Science, Anqing Normal University, Anqing 246133, China*
2 *The Key Laboratory of Aquatic Biodiversity and Conservation of Chinese Academy of Sciences, Institute of Hydrobiology of Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072, China*

Abstract: The critically endangered Yangtze finless porpoise inhabits areas in the near-shore shallow waters, and particularly prefers areas with natural muddy or sandy riverbanks. However, a considerable stretch of the natural riverbank of the Yangtze main stem has been replaced by artificial riverbanks since the 1990s, such as rocky and dock banks. Artificial riverbanks appear to cause destructive effects on the ecological environment of the Yangtze river. However, the effects of artificial riverbanks on the Yangtze finless porpoise remain largely unknown. In this study, twelve consecutive surveys were conducted in two nature reaches of the Yangtze River (~57 km) from March 2016 to January 2017. The data recorded included abundance and distribution patterns of the Yangtze finless porpoise, and the styles of the riverbank. A total of 215 porpoises were sighted during the twelve surveys, with a range of 9—32 per survey. The average number of porpoises was 17.92±7.09 individuals per survey. No significant difference was found in the number of porpoises observed in

基金项目:香港海洋公园保育基金(AW05_1617)
收稿日期:2017-07-22;　**修订日期**:2017-10-24
* 通讯作者 Corresponding author.E-mail: ahyudp@126.com

different seasons ($P>0.05$). The total the artificial riverbank per 3 km ($r=-0.639$, $P<0.01$). In the natural riverbank, 31.8% of the porpoises were sighted within 50 m in-shore. However, in the artificial riverbank, only two porpoises were sighted within 50 m in-shore. These findings may suggest that the artificial riverbank has caused habitat loss and fragmentation for the Yangtze finless porpoise. This factor should be considered when drawing up measures to conserve and restore the continuity of the Yangtze finless porpoise habitat.

Key Words: *Neophocaena asiaeorientalis asiaeorientalis*; habitat selection; artificial riverbank; natural riverbank

处在生态系统食物链顶端，占用较大栖息地的物种，在生境破碎过程中是最先灭绝的动物[1]，其中栖息地毁坏所带来的食物链结构的改变是灭绝的直接原因[2]。淡水豚类是河流生态系统的顶级生物，对河流生境变化特别敏感，白鱀豚(*lipotes.vexillifer*)的功能性灭绝、恒河豚(*Platanista gangeticaminor*)的濒危、湄公河中伊河豚(*Orcaella brevirostris*)数量的急剧下降等，都是人类经济活动直接毁坏豚类栖息地造成的后果[3-6]。

长江江豚(*Neophocaena asiaeorientalis asiaeorientalis*，以下简称"江豚")仅分布在我国长江中下游干流以及鄱阳湖和洞庭湖两大通江湖泊中[7]。1990 年代早期，长江干流中江豚数量至少 2700 头，从宜昌至上海 1800 km 江段呈斑块状连续分布，集群规模达 20 头以上约 3%[8]。2012 年，长江干流中江豚种群数量仅 500 头左右，每年仍以 13.7%速度在下降，已经极度濒危[9]。随着江豚种群的持续下降，其在长江干流的分布也呈现破碎化，如武汉以上江段存在 3 个长约 180 km 的分布空白区[9-10]。

江豚对栖息地有较强的选择性。据报道，长江干流约有 80%的江豚栖居在近岸 300 m 的浅水水域[8,11]，尤其喜爱岸型为自然泥沙质的近岸水域，且喜好在江河、江湖交汇处和沙洲附近等水域活动，原因是这些水域河床坡度平缓，底质为淤泥，水流缓慢，水生生物资源丰富，人类活动少[8,11-15]。然而，随着长江航道整治、港口码头建设及防洪的需求，很多自然河岸被块石或混凝土固化，固化河岸近岸水域底质常为抛石固脚。这些自然河岸固化后，近岸水生植被与底栖生物的毁坏，导致渔业环境退化，由此给江豚分布和栖息活动造成什么样的影响，仍不甚清楚。

安庆市江豚自然保护区上起湖口，下至枞阳县栏江矶，全长约 150 km。该保护区江豚喜爱的自然栖息地类型非常多，如心滩、沙洲、迳流和通江湖泊入口等。2006 年和 2012 年长江豚类考察结果显示，安庆保护区是长江干流江豚分布最密集的江段[9-10,16]。然而，本世纪起，保护区内的许多涉水建设项目，都需要护坡护岸，自然河岸在逐年消失。本文选择保护区内的 2 个自然河段，官洲河段和安庆河段(吉阳叽-钱江嘴，图 1)，在不同的水位期，调查江豚数量、集群规模、分布特征，并结合固化河岸的相关数据，比较分析自然河岸和固化河岸与江豚分布模式之间的关系，探讨河岸固化对江豚栖息活动的影响。研究结果不仅为江豚重要栖息管护与修复提供对策，也为长江涉水工程环保措施制定提供依据。

1 材料与方法

1.1 研究水域和研究时间

本研究选择安庆江豚自然保护区内的 2 个自然河段(官洲河段和安庆河段)，全长约 57 km，包括保护区的核心区、缓冲区和实验区开展相关研究。2016 年 3 月到 2017 年 1 月，对研究区域内江豚的数量和分布共进行了 12 次目视考察，考察的月份为 2016 年 3 月、6 月、7 月、8 月、9 月、11 月、12 月，以及 2017 年 1 月。不同水位期，由于水文环境的差异，江豚的分布可能会不同，依据每年 11 月至次年 2 月，长江水位较低，5—8 月，水位较高，其余月份水位居中，故将考察分为低水位、平水位和高水位 3 个时期。

1.2 研究方法

在长江干流中，约有 80%的长江江豚栖息在近岸 300 m 水域内[8,11]。因此，利用小型渔船作为目视观测平台，沿长江和沙洲两岸，对近岸 300 m 水域内的江豚分布进行考察，能很好地反应长江江豚的分布特征。该

方法也曾被多次运用到研究江豚分布的考察中[17-19]。本研究采用以小型渔船作为目视观测平台来调查安庆河段长江江豚的分布特征。每次考察租用 2 条小型渔船,同时沿南北两侧江岸或者沙洲岸,保持距岸 150 m 左右航行,研究人员主要以裸眼观察,并使用双筒望远镜(Fujinon,7×50)进行辅助,对以船为中轴线的 300 m 近岸水域范围内的长江江豚进行观察。由于江豚的平均游动速度为 4.5 km/h[20],考察时,船速控制在 5—12 km/h,可避免重复记录。每艘船上考察队由 4 名成员组成,3 名队员组成主要观察队(PO,primary observer),观察平台高于水面约 2 m。PO 观察时,1 名队员观察左边-90°至 10°,1 名队员观察右边 90°至-10°,这 2 名队员都覆盖航线前方区域,以保证中线上能够有很好的覆盖度。1 名队员负责记录,另 1 名队员先休息,每 0.5 h 观察队员换一次位置。队员工作 1.5 h,休息 0.5 h,以保证精力充足。观察天气选择在无风或者微风的晴天、阴天或者小雨天气,以保证观察距离和观察效率。为了减少每次观察之间的误差,我们租用相同的渔船和渔民,每次考察的观察员也相同。并且在每次考察开始之前,对所有观察队员进行一天观察和数据记录培训。

1.3　数据记录和分析

野外考察采用手持 GPS 记录航迹和江豚出现的坐标点,按照 2006 和 2012 年大型长江淡水豚类考察所使用的记录方法,记录观测到的长江江豚的具体信息有:离岸距离、群体大小、江豚行为、栖息环境等。野外母子对的确定,是依据幼豚较小,常位于母豚腰上方(队列位)[21],出水呼吸行为短促,不像成年江豚一样平缓的出水,而是几乎垂直地冲出水面。固化河岸的类型和起始点也在考察过程中记录下来。GPS 航迹上固化河岸和自然河岸的长度均用 ArcGIS 10.0 的距离测量工具测量,计算每 3 km 自然河岸和固化河岸的长度比例和对应的每 3 km 江豚的数量,用来分析固化河岸与江豚的分布模式之间的关系。本文数据处理均采用 SPSS 19.0 (SPSS, Inc., Chicago, IL, USA)进行统计分析。

2　结果与分析

2.1　江豚数量

共进行了 12 次考察,其中低水位 5 次,平水位 3 次,高水位 4 次,单次考察双船考察里程约 120 km。考察累计观察到江豚 102 群次,215 头次,平均单次考察观察到江豚(17.92±7.09)头次。高水位累计观察到江豚 28 群次,62 头次,平均每次观察到江豚(15.5±3.87)头次;平水位累计观察到江豚 22 群次,56 头次,平均每次观察到江豚(18.7±11.24)头次;低水位累计观察到江豚 52 群次,97 头次,平均每次观察到江豚(19.4±7.40)头次(表 1)。3 个水位期平均观察到的江豚头数无显著差异(One-Way ANOVA, $F=0.314$, $P>0.05$)。

表 1　不同水位期观测到的江豚群次、数量、最大群体和母子对数量

Table 1　Number of porpoise and groups, the maximum group size and number of mother-calf pairs observed during investigations

考察季节 Seasons	考察日期 Data	江豚群次 Number of groups observed	目击率/(群次/km) Encounter rate	江豚数量 Number of porpoise observed	最大群体 Maximum group size	母子豚数量 Number of mother-calf pairs observed
低水位期	2016-11-22	8	0.068	15	4	0
Low water level	2016-12-6	8	0.067	20	5	0
	2016-12-22	20	0.165	32	4	1
	2017-1-5	9	0.077	16	3	2
	2017-1-13	7	0.060	14	3	1
均值 Average		10.4±5.41	0.0874±0.04379	19.4±7.40	3.8±0.84	0.8±0.84
平水位期	2016-3-1	13	0.111	31	6	2
Middle water level	2016-3-3	7	0.059	16	5	2
	2016-9-4	2	0.017	9	6	3

续表

考察季节 Seasons	考察日期 Data	江豚群次 Number of groups observed	目击率/(群次/km) Encounter rate	江豚数量 Number of porpoise observed	最大群体 Maximum group size	母子豚数量 Number of mother-calf pairs observed
均值 Average		7.33±5.508	0.0623±0.04709	18.7±11.24	5.7±0.58	2.3±0.58
高水位期	2016-6-4	6	0.049	10	2	3
High water level	2016-6-7	4	0.034	16	7	5
	2016-7-3	10	0.085	19	4	2
	2016-7-5	8	0.066	17	5	3
均值 Average		7.0±2.58	0.0585±0.02198	15.5±3.87	4.5±2.08	3.3±1.26

2.2 集群规模

考察累计观察到的江豚群体大小 1—7 头不等,以 1—2 头最常见,占 74.5%;3—4 头占 18.6%;5—7 头占 6.9%。高水位期和低水位期,1—2 头的小群体分别占有 78.6% 和 78.8%。平水位期 1—2 头的小群体仅占 59.1%,约 40.9%的群体均为 3 头或以上集群。不同水位期江豚的群体组成和不同河岸江豚的群体组成见图 1,可以看出,自然河岸 5—7 头的江豚大群体占 8%,分布在固化河岸的最大群体为 4 头。

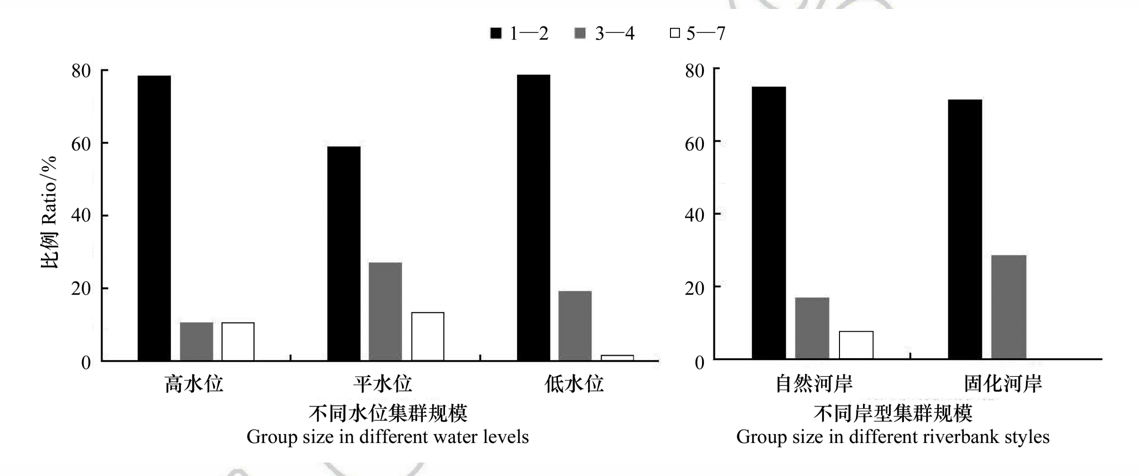


图 1 不同水位期以及不同岸型江豚的集群规模

Fig.1 Porpoise group size observed in different water levels and riverbank styles

共观察到母子对 24 对,最多一次观察到 5 对。本研究中,春夏季(3—9 月)7 次调察,记录母子对 20 对,均值 2.86±1.069。秋冬季(11 月—次年 1 月),5 次调查,记录母子对 4 对,均值 0.80±0.837。春夏季观察到的母子对数量要显著高于秋冬季(One-Way ANOVA,$F=12.78$,$P<0.01$)。

2.3 江豚分布

图 2 为 12 次考察所记录的江豚次数累积分布叠加图,安庆城区长约 10 km 的江段,没有发现江豚。皖河口-官洲尾、官洲洲头、鹅毛洲洲头—南岸水域均是江豚的密集分布区。鹅毛洲洲头-江南岸水域累积观察到的江豚数量最多,共 57 头次,占总观察头次的 26.5%,最大群体达 7 头。

江豚在自然河岸和固化河岸都呈现近岸分布,累计观察到栖息在距岸 300 m 以内水域的江豚占 84.9%。在自然河岸,85.4%的江豚栖息在距岸 300 m 以内水域,其中分布在 50 m 水域范围内分布的江豚占 31.8%;在固化河岸,80.0%的江豚栖息在距岸 300 m 以内水域,其中仅观察到 2 头江豚活动在近岸 50 m 水域内(图 3)。

2.4 固化河岸与江豚的分布模式之间的关系

官洲河段和安庆河段固化河岸共 11 段,主要分为 3 类,巩固堤岸的石质护坡护岸(干砌块石、浆砌块石或浆砌预制块),城区沿江建设带(防洪墙和码头)和密集码头岸型。如图 1 所示,2 号为城区防洪墙段和码头

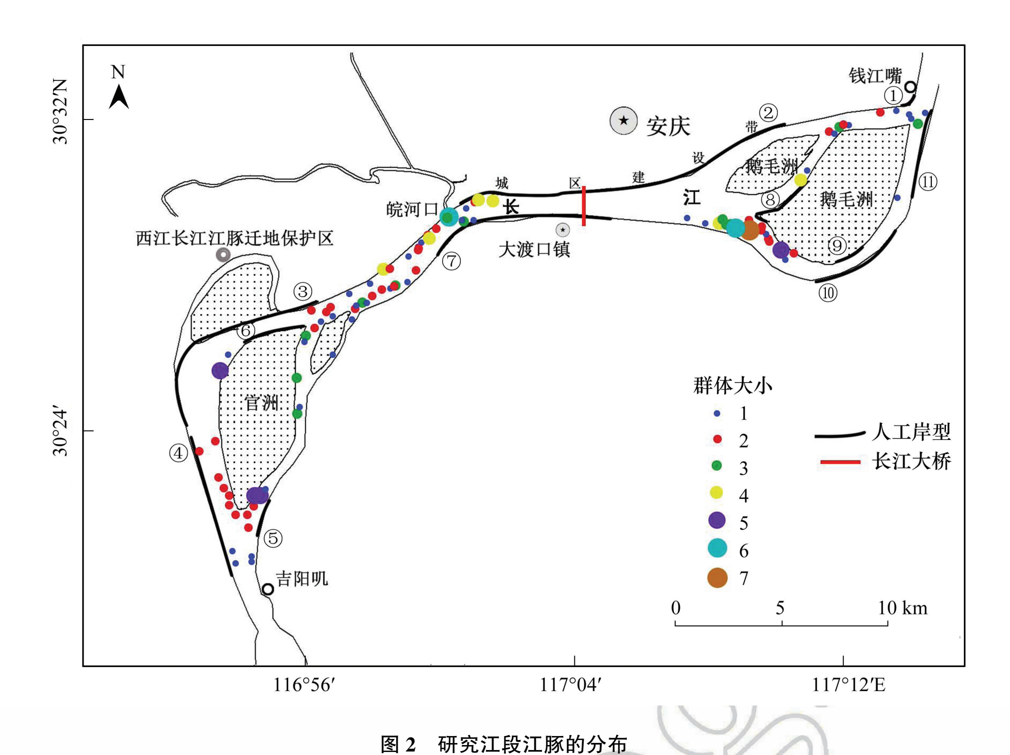


图 2　研究江段江豚的分布

Fig.2　Distribution of the Yangtze finless porpoise in the study area

图中彩色圆点代表江豚群体大小,①—⑪黑色粗线条代表 11 段固化河岸

累计观察
分别观察
自然河岸
固化河岸
比例 Ratio/%
<50
50—100
100—150
150—200
200—250
250—300
>300
距岸距离
Distance from riverbank/m

图 3　累计观察到的江豚距岸距离和在自然河岸和固化河岸分别观察到的江豚距岸距离

Fig.3　Distance of observed porpoise from riverbank, shows cumulative distance of observed porpoise from riverbank, shows cumulative distance of observed porpoise from natural and artificial riverbanks

区;10 号为鹅毛洲南汊密集码头区,此水域有大量船舶停靠;7 号为大渡口镇建设带和少量码头区,其余段均为石质护岸护坡段。固化河岸总长 71.3 km,约占两个河段岸线总长的 59%。高水位、平水位和低水位,分布在固化河岸的江豚分别占观察到的江豚总数的 9.6%,19.6%和 13.4%,累计分布在固化河岸水域的江豚占观察记录江豚总数的 13.9%。官洲河段和安庆河段约 41%的河岸为自然河岸,高水位、平水位和低水位,分布在自然河岸的江豚分别占观察到的江豚总数的 91.4%,80.4%和 86.6%,累计选择利用自然河岸的江豚占观察到的江豚总数的 86.1%(图 3)。进一步通过相关关系分析发现,江豚在单位河岸长度(3 km)的分布数量与该段固化河岸长度所占的比例呈显著负相关($r = -0.639$, $P<0.01$,图 4)。

3 讨论

安庆市江豚自然保护区是长江干流江豚分布密度最高的区域[9-10,16]。本研究在官洲和安庆两个自然河段的不同水位期,平均观察到的江豚数量无显著差异,这提示栖居在本河段的江豚数量比较稳定。但研究发现在不同季节观察到的母子对存在明显季节性变化,春夏季观察到的母子对较多。在野外能确定为母子对的,幼豚一般很小,多为几月龄,出水方式和母子豚体位较为独特。本研究在春夏季观察到母子对较多,说明春夏季是江豚分娩高峰季节,这与以往关于江豚繁殖生物学的多项研究结果基本一致[13,22-23]。江豚的集群规模一般较小,20 世纪 90 年代的研究表明江豚 1—5 头群体最常见,约占 88%,其中又以 2—3 头群体占有比例最高[8]。而在本研究中,3 头及以上群体占有比例要明显低于 1—2 头群体,5 头及以上的群体占有比例更少。另外,平水位期观察到 3 头及以上江豚群体的比例要明显高于高水位期和低水位期,而分布在自然河岸的集群规模也要大于分布在固化河岸的。

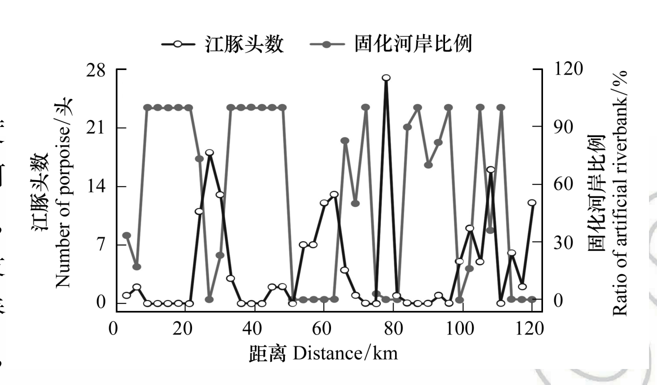


图 4 江豚分布数量与固化河岸比例之间的关系

Fig.4 Relations between the number of porpoise and the ratio of artificial riverbank

受食物资源、水文、地形地貌和不同栖息斑块之间迁移可能性等因素影响,淡水豚类对栖息地的选择较为复杂,对生境的变化也非常敏感[24-25]。人类经济活动,其中包括水利工程等[3-6,26],直接毁坏豚类栖息地,是导致豚类种群衰退的重要因素。本研究发现,固化河岸如城市建设带、石质护岸、密集码头区等对江豚分布产生严重影响。从图 2 可以看出,自然河岸的沙洲或干流水域,几乎都有江豚分布,而在固化河岸,如官洲北侧的石质护岸带、安庆城区防洪墙、大渡口护坡带、鹅毛洲的石质护岸带和洲南汊密集的码头区,极少发现江豚分布。统计分析发现,长江江豚的分布数量与固化河岸长度所占比例呈显著负相关。长江江豚喜欢栖居在河床坡度平缓,水流较缓,底质为淤泥的近岸浅水区[8,11-15],固化河岸不仅破坏了平缓的河床坡度,底部多还有抛石护脚,改变了江豚和其食物鱼资源栖息所需要的水文和水生态环境,可能是江豚避开固化河岸的因素之一。Wang[27]等曾在靠近皖河口的安庆城区西侧码头区,频繁探测到江豚觅食信号,并且比较发现,该区域鱼类资源较周边水域更加丰富。本研究中历次考察也发现有江豚频繁在该水域活动,这可能是由于该水域是安庆渔民集中停泊区,渔民饮食废弃物较多,而该水域又紧挨江豚重要栖息地皖河口—官洲尾江段,抛在水中吸引鱼类和江豚聚集。而在鹅毛洲南汊,密集的码头和航运船舶的密集分布区,则极少发现江豚分布。江豚不仅避开固化河岸,分布在固化河岸的江豚也远离近岸分布。研究发现,虽然无论是在自然河岸还是在固化河岸,分布在近岸 300 m 水域范围内的江豚均占 80%以上,但是固化河岸对江豚的近岸分布有明显的影响,如在固化河岸,分布在近岸 50 m 水域内的江豚仅观察到 2 头,而在自然河岸,分布在 50 m 水域内的江豚占到 31.8%。

长江江豚种群数量呈快速下降趋势,栖息地丧失和破碎化可能是主要原因之一[9,26]。固化河岸不仅导致江豚的栖息地丧失,还导致江豚栖息地质量退化,江豚栖息地破碎化加重。本研究发现安庆城区防洪墙和对岸大渡口镇护坡带之间,约有 10 km 江段,均未发现江豚。这说明该区域江豚的栖息地毁坏可能较严重,江豚在该区域出现的概率极低。如果这些区域得不到有效恢复,甚至是进一步恶化或者扩大,就有可能导致分布在鹅毛洲与官洲的江豚相互隔离,慢慢形成破碎化分布格局。Braulik[4]等通过模拟恒河豚栖息地破碎化与灭绝概率,发现破碎的栖息地面积越小,分布在此处的豚类越容易灭绝。本世纪起,在长江干流中类似安庆这样的沿江城市都建有防洪墙,栖息地破碎化越来越严重,对此给江豚长期生存带来的影响应给予重视。

河流动物的栖息地通常由很多大小不同的斑块组成,动物能否在各栖息斑块之间自由迁移,是种群之间交流的关键[4,28]。从图 2 可以看出,鹅毛洲洲头水域是江豚分布的重点水域,最大集群规模达到 7 头。受到

安庆城市防洪墙、大渡口护坡带和港区码头等固化河岸的影响,江豚向上迁移受到影响,仅通过鹅毛洲中汊与洲尾江豚仍维系着交流。鹅毛洲的北汊和南汊都有大片的码头区、护岸护滩岸线较长,江豚很少通过。目前中汊,人类活动少,自然岸线多,全年都有江豚栖息活动。研究推测中汊可能是鹅毛洲洲头和洲尾江豚交流的唯一廊道。在长江干流,管护好江豚迁移廊道,是防止生活在不同斑块栖息中江豚逐渐消失的关键措施。

总之,本研究通过分析江豚的自然分布与河岸类型的关系,发现分布在泥沙质自然河岸的江豚数量要显著高于分布在固化河岸的数量,且江豚在单位河岸长度的分布数量与该段固化河岸长度所占的比例呈显著负相关,这都表明固化河岸的近岸水域可能已非江豚适宜栖息地。研究发现,河岸固化不仅导致江豚栖息地直接丧失和栖息地质量衰退,也导致各栖息地斑块间连通程度下降。在长江干流,固化河岸所占的比例非常高,且在未来可能会有更多河岸被固化,本研究结果提示这可能导致长江干流江豚栖息地的丧失和破碎化加剧,在制定长江江豚保护措施必需慎重考虑此因素的影响,并据此提出相应的栖息地保护和恢复方案。

致谢:安庆市农委渔业局支持和配合工作,当地渔民提供考察船只,特此致谢。

参考文献(References):

[1] Tilman D, May R M, Lehman C L, Nowak M A. Habitat destruction and the extinction debt. Nature, 1994, 371(6492): 65-66.

[2] Melián C J, Bascompte J. Food web structure and habitat loss. Ecology Letters, 2002, 5(1): 37-46.

[3] Turvey S T, Pitman R L, Taylor B L, Barlow J, Akamatsu T, Barrett L A, Zhao X J, Reeves R R, Stewart B S, Wang K X, Wei Z, Zhang X F, Pusser L T, Richlen M, Brandon J R, Wang D. First human-caused extinction of a cetacean species? Biology Letters, 2007, 3(5): 537-540.

[4] Braulik G T, Reichert A P, Ehsan T, Khan S, Northridge S P, Alexander J S, Garstang R. Habitat use by a freshwater dolphin in the low-water season. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems, 2012, 22(4): 533-546.

[5] Braulik G T, Arshad M, Noureen U, Northridge S P. Habitat fragmentation and species extirpation in freshwater ecosystems; Causes of range decline of the Indus River Dolphin (*Platanista gangetica minor*). PLoS One, 2014, 9(7): e101657.

[6] Khan M S, Pant A. Conservation status and distribution pattern of the Indus River Dolphin in River Beas, India. Biodiversitas, 2014, 15(1): 75-79.

[7] 高安利, 周开亚. 中国水域江豚外形的地理变异和江豚的三亚种. 兽类学报, 1995, 15(2): 81-92.

[8] 张先锋, 刘仁俊, 赵庆中, 张国成, 魏卓, 王小强, 杨健. 长江中下游江豚种群现状评价. 兽类学报, 1993, 13(4): 260-270.

[9] Mei Z G, Zhang X Q, Huang S L, Zhao X J, Hao Y J, Zhang L, Qian Z Y, Zheng J S, Wang K X, Wang D. The Yangtze finless porpoise: on an accelerating path to extinction? Biological Conservation, 2014, 172: 117-123.

[10] Zhao X J, Barlow J, Taylor B L, Pitman R L, Wang K X, Wei Z, Stewart B S, Turvey S T, Akamatsu T, Reeves R R, Wang D. Abundance and conservation status of the Yangtze finless porpoise in the Yangtze River, China. Biological Conservation, 2008, 141(12): 3006-3018.

[11] 赵修江. 河流系统鲸豚类种群数量调查方法探索及其应用研究[D]. 北京: 中国科学院水生生物研究所, 2009.

[12] 杨光, 周开亚, 加藤秀弘, 宫下富夫. 东海水域瓶鼻海豚种群数量和分布的初步研究. 兽类学报, 1997, 17(4): 241-247.

[13] 魏卓, 王丁, 张先锋, 赵庆中, 王克雄, 匡新安. 长江八里江江段江豚种群数量、行为及其活动规律与保护. 长江流域资源与环境, 2002, 11(5): 427-432.

[14] 魏卓, 张先锋, 王克雄, 赵庆中, 匡新安, 王小强, 王丁. 长江江豚对八里江江段的利用及其栖息地现状的初步评价. 动物学报, 2003, 49(2): 163-170.

[15] 于道平, 王江, 杨光, 章贤. 长江湖口至荻港段江豚春季对生境选择的初步分析. 兽类学报, 2005, 25(3): 302-306.

[16] Zhao X, Wang D, Turvey S T, Taylor B, Akamatsu T. Distribution patterns of Yangtze finless porpoises in the Yangtze River: implications for reserve management. Animal Conservation, 2013, 16(5): 509-518.

[17] Kimura S, Akamatsu T, Wang K X, Li S H, Dong S Y, Wang D, Arai N. Small-scale towing survey combined acoustical and visual observation for finless porpoise in the Yangtze River//Proceedings of the 4th International Symposium on SEASTAR2000 and Asian Bio-logging Science (The 8th SEASTAR2000 Workshop). Kyoto, Japan: Kyoto University, 2009.

[18] Kimura S, Akamatsu T, Li S H, Dong L J, Wang K X, Wang D, Arai N. Seasonal changes in the local distribution of Yangtze finless porpoises related to fish presence. Marine Mammal Science, 2012, 28(2): 308-324.

[19] Dong L J, Wang D, Wang K X, Li S H, Mei Z G, Wang S Y, Akamatsu T, Kimura S. Yangtze finless porpoises along the main channel of Poyang Lake, China: implications for conservation. Marine Mammal Science, 2015, 31(2): 612-628.

[20] Akamatsu T, Wang D, Wang K X, Wei Z, Zhao Q Z, Naito Y. Diving behaviour of freshwater finless porpoises (*Neophocaena phocaenoides*) in an oxbow of the Yangtze River, China. ICES Journal of Marine Science, 2002, 59(2): 438-443.

[21] Xian Y J, Wang K X, Jiang W H, Zheng B Y, Wang D. The Development of Spatial Positions between Mother and Calf of Yangtze Finless Porpoises (*Neophocaena asiaeorientalis asiaeorientalis*) Maintained in Captive and Seminatural Environment. Aquatic Mammals, 2012, 38(2): 127-135.

[22] 张先锋. 江豚的年龄鉴定、生长和生殖的研究. 水生生物学报, 1992, 16(4): 289-298.

[23] 郝玉江, 王丁, 张先锋. 长江江豚繁殖生物学研究概述. 兽类学报, 2006, 26(2): 191-200.

[24] Davis R W, Ortega-Ortiz J G, Ribic C A, Evans W E, Biggs D C, Ressler P H, Cady R B, Leben R R, Mullin K D, Würsig B. Cetacean habitat in the northern oceanic Gulf of Mexico. Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers, 2002, 49(1): 121-142.

[25] Schofield P J. Habitat selection of two gobies (*Microgobius gulosus*, *Gobiosoma robustum*): influence of structural complexity, competitive interactions, and presence of a predator. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 2002, 288(1): 125-137.

[26] Wang D. Population status, threats and conservation of the Yangtze finless porpoise. Chinese Science Bulletin, 2009, 54(19): 3473-3484.

[27] Wang Z T, Akamatsu T, Mei Z G, Dong L J, Imaizumi T, Wang K X, Wang D. Frequent and prolonged nocturnal occupation of port areas by Yangtze finless porpoises (*Neophocaena asiaeorientalis*): forced choice for feeding? Integrative Zoology, 2015, 10(1): 122-132.

[28] Poff N L, Allan J D, Bain M B, Karr J R, Prestegaard K L, Richter B D, Sparks R E, Stromberg J C. The natural flow regime: a paradigm for river conservation and restoration. BioScience, 1997, 47(11): 769-784.